



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN MEJORAS MECÁNICAS A LOS EQUIPOS DE  
TRITURACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL MATERIAL  
DE 3/8" EN UNA PLANTA DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

**Jonatan Emmanuel Hernández Villacinda**

Asesorado por el MA. Ing. Randi Omar Álvarez Ortiz

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN MEJORAS MECÁNICAS A LOS EQUIPOS DE  
TRITURACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL MATERIAL  
DE 3/8" EN UNA PLANTA DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JONATAN EMMANUEL HERNÁNDEZ VILLACINDA**  
ASESORADO POR EL MA. ING. RANDI OMAR ÁLVAREZ ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Nefalí López Orozco
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN MEJORAS MECÁNICAS A LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL MATERIAL DE 3/8" EN UNA PLANTA DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, con fecha 17 de julio de 2014.

**Jonatan Emmanuel Hernández Villacinda**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226

**AGS-MGIPP-034-2015**

Guatemala, 27 de julio de 2016.

Director  
Juan José Peralta Dardón  
Escuela de **Ingeniería Mecánica Industrial**  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Jonatan Emmanuel Hernández Villacinda** carné número **2003-12921**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

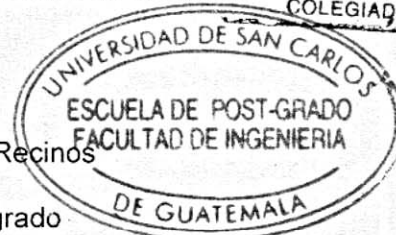
MSc. Ing. Randi Omar Alvarez Ortiz  
Asesor (a)

**Randi O. Alvarez O.**  
**Ing. Industrial**  
**Col. No. 7498**

Dra. Alba Maritza Guerrero Soñota  
Coordinadora de Área  
Gestión de Servicios

**ALBA MARITZA GUERRERO DE LOPEZ**  
**INGENIERA INDUSTRIAL**  
**COLEGIADA No. 4611**

MSc. Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.147.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN MEJORAS MECÁNICAS A LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL MATERIAL DE 3/8” EN UNA PLANTA DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Jonatan Emmanuel Hernández Villacinda**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón  
**DIRECTOR**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**

Guatemala, septiembre de 2016.



/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

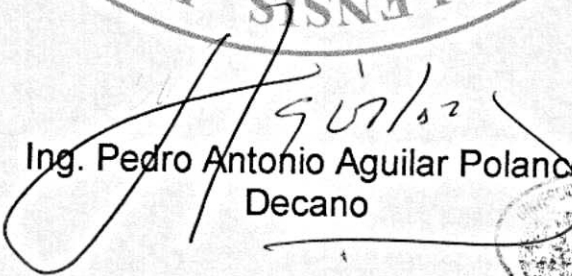


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.404-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: MEJORAS MECÁNICAS A LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL MATERIAL DE 3/8" EN UNA PLANTA DE AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Jonatan Emmanuel Hernández Villancinda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, septiembre de 2016

/cc

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Descripción del problema .....	9
3.2. Formulación del problema .....	10
3.3. Delimitación del problema.....	11
3.4. Variabilidad.....	11
3.5. Consecuencias .....	11
3.5.1. Si se realiza el trabajo de investigación .....	11
3.5.2. Si no se realiza el trabajo de investigación.....	12
4. JUSTIFICACION .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
6. NECESIDADES LABORALES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19



7.1.	Plantas de trituración y producción de agregados para la construcción.....	19
7.1.1.	Construcción .....	19
	7.1.1.1.    Concreto .....	19
7.2.	Agregados para la construcción .....	21
7.2.1.	Agregados y sus tipos .....	21
	7.2.1.1.    Agregados naturales.....	21
	7.2.1.2.    Agregados por trituración.....	21
	7.2.1.3.    Agregados artificiales .....	21
	7.2.1.4.    Piedra triturada y arena manufacturada.....	22
7.3.	Propiedades de los agregados .....	22
7.3.1.	Granulometria.....	23
7.3.2.	Módulo de fineza .....	24
7.3.3.	Contenido de finos.....	24
7.3.4.	Propiedades físicas .....	25
	7.3.4.1.    Densidad .....	25
	7.3.4.2.    Porosidad .....	25
	7.3.4.3.    Peso unitario.....	26
	7.3.4.4.    Porcentaje de vacíos .....	26
	7.3.4.5.    Humedad .....	26
7.3.5.	Propiedades resistentes .....	27
	7.3.5.1.    Resistencia .....	27
	7.3.5.2.    Tenacidad.....	27
	7.3.5.3.    Dureza .....	28
	7.3.5.4.    Módulo de elasticidad .....	28
7.4.	Agregados en la construcción y su importancia.....	29
7.5.	Normas ASTM.....	29

7.5.1.	Norma ASTM C33 (análisis granulométrico de agregados finos y gruesos) .....	31
7.5.1.1.	resumen del método de ensayo .....	31
7.5.1.2.	Significado y uso .....	31
7.6.	Productividad.....	32
7.6.1.	Productividad operativa.....	33
7.7.	Producción de agregado de 3/8" .....	34
7.7.1.	Usos del agregado de 3/8" .....	34
7.7.2.	Ventajas del agregado de 3/8" .....	35
7.8.	Maquinaria para producción de agregados (trituración) .....	35
7.8.1.	Trituradora de impacto de eje vertical .....	35
7.8.1.1.	Velocidad tangencial para la trituración .....	37
7.8.2.	Criba horizontal.....	40
8.	PROPUESTA DE CONTENIDOS.....	43
9.	METODOLOGÍA .....	47
9.1.	Tipo de estudio .....	47
9.2.	Diseño de la Investigación .....	47
9.3.	Alcance.....	48
9.4.	Variables e Indicadores .....	49
9.5.	Población y muestra .....	50
9.6.	Fases de la Metodología.....	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	55
10.1.	Análisis y Obtención de la Información .....	55
11.	CRONOGRAMA.....	57

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	59
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Cámara de trituración de un VSI .....	37
2.	Velocidad tangencial .....	38
3.	Esquema de un VSI .....	39
4.	Criba horizontal de 3 pisos .....	41
5.	Cronograma .....	57

### TABLAS

I.	Variables e indicadores .....	50
II.	Recurso humano .....	59
III.	Recursos Materiales .....	60
IV.	Presupuesto .....	60



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>ASTM</b>	American society for testing materials (Sociedad estadounidense para pruebas y materiales).
<b>VSI</b>	Vertical shaft impact (Trituradora de impacto de eje vertical).



## GLOSARIO

<b>Agregado</b>	Material granular el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.
<b>Basalto</b>	Roca ígnea en la que predominan los minerales de color oscuro. Con más del 50% de feldespatos plagioclasas y el resto de silicatos ferromagnésicos.
<b>Cantera</b>	Área donde se extrae rocas o minerales
<b>Cascajo</b>	Desecho que se obtiene del material directo de cantera compuesto por arcillas, entre otros, en la producción de agregados.
<b>Construcción</b>	Acción y efecto de construir, edificar, fabricar o desarrollar una obra de ingeniería o de arquitectura.



<b>Granulometría</b>	Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, del origen como de las propiedades mecánicas y el cálculo de la presencia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.
<b>Producción</b>	Fabricación o elaboración de un producto mediante el trabajo o transformación de material prima.
<b>Terciaria</b>	Área de la planta de producción en donde se realizará el estudio, también conocido como sección terciaria de trituración.
<b>Trituración</b>	Reducción de tamaño de rocas por medio de procesos mecánicos.

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la utilización de agregados para la construcción es muy alta, debido a que su gama de presentaciones y propiedades cumple con lo que buscan las personas para realizar una construcción de calidad y que resista los embates del tiempo.

Uno de los agregados más utilizados en las construcciones industrializadas, es el agregado de 3/8", debido a su gran manejabilidad y propiedades físicas, esto hace que las empresas que proveen estos materiales, deban de garantizar una respuesta adecuada a la creciente demanda.

No solo es necesario tener volumen de agregado, también que el agregado cumpla con las normas internacionales de granulometría, así como, de calidad de la misma. Es por ello que se realizan las pruebas según las norma ASTM para que el producto ofrecido sea lo adecuado para el cliente.

Con el presente trabajo de investigación, se busca analizar la situación de una de estas empresas de agregados, debido a que no se tiene la capacidad para cubrir la demanda que a corto plazo irá aumentando, es necesario realizar una serie de pruebas en distintos equipos para determinar si es factible y viable aumentar la productividad de la planta y en especial la producción de agregado de 3/8".

El presenta trabajo de investigación es una sistematización, debido a que se busca llegar a una solución partiendo de varias áreas del proceso y unificándolas o entrelazándolas para lograr un objetivo general, esto se muestra

en 5 capítulos, donde se identifica la situación de la empresa y diseño de un plan estratégico que permita aumentar la productividad del proceso de producción del agregado de 3/8”.

La importancia del presente trabajo de investigación, radica en demostrar que es posible aumentar la productividad en un proceso en específico sin necesidad de invertir grandes cantidades de dinero para lograrlo.

Para obtener este resultado requerido, este trabajo se basa en el siguiente esquema de solución:

- Se recopilará la literatura necesaria para tener una base documental adecuada al trabajo de investigación.
- Se establecerá la capacidad instalada de la planta de producción.
- Se determinarán las modificaciones que sean necesarias en los equipos principales de trituración, para aumentar la productividad del producto terminado de 3/8”.
- Se determinará la variación entre la productividad inicial y la productividad obtenida luego de los cambios realizados.
- Se establecerán cuáles son los costos y beneficios para obtener estos beneficios.
- Se incrementará la productividad del producto terminado de 3/8”.

Para llevar a cabo el esquema mostrado anteriormente, se estudiará a cabo la investigación que se muestra en los capítulos siguientes:

En el capítulo uno, se mostrará la literatura en la cual se busca el apoyo documental y el soporte de los planteamientos en los que se basa la solución buscada en el presente trabajo de investigación.

En el capítulo dos, se da a conocer la información general de la empresa, los temas institucionales tales como la misión y visión los cuales nos darán una vista general del tipo de orientación que tiene hacia los clientes, además se mostrará un segmento del grupo de empresas al cual pertenece el lugar de investigación donde se realizará el estudio y sus diferentes productos y servicios que presta.

En el capítulo tres, se muestra la situación de la empresa, se describen sus procesos y la maquinaria utilizada en estos, también los controles del laboratorio de control de calidad, así como, los requisitos que deben cumplir este tipo de productos.

En el capítulo cuatro, se muestra una serie de modificaciones mecánicas que se pueden realizar a dos equipos principales en el proceso de trituración y clasificación de agregado de 3/8", con lo cual se busca incrementar la productividad de los mismos, y por consiguiente, aumentar el volumen de producción para garantizar cubrir la demanda futura de los clientes, siempre con la misma calidad con la que se ha estado trabajando.

En el capítulo cinco, se presentaran y se discutirán los resultados obtenidos en la fase anterior, se analizan cada uno de ellos y se define el aumento en la productividad del proceso, esto a su vez se representara en indicadores monetarios los cuales ayudan a tener un panorama más claro con respecto a los objetivos que se buscan cumplir.



## 2. ANTECEDENTES

Parte de los objetivos principales de una empresa es generar utilidades que le garanticen permanecer en el mercado por mucho tiempo, uno de los caminos para poder llegar a generar estas utilidades es el uso eficiente de los recursos que se tienen, del aumento de la productividad en todas las áreas y en especial en el aprovechamiento de las capacidades de los equipos y maquinarias.

Hoy en día, la empresa analizada se encuentra en un dilema que, de no resolverlo, no podría garantizar cubrir la demanda de sus clientes en un corto plazo, lo cual se traduce en un costo de oportunidad bastante alto.

Garantizar la productividad de los procesos y de la maquinaria es uno de los objetivos principales de la empresa, debido a que estos son los recursos que mayor costo generan, por lo tanto, cada porcentaje que se logre aumentar la productividad, es clave para poder seguir siendo competitivos.

Gallego (2011, p. 21) mencionó: “Una de la formas de mejorar la productividad es el aumento de la capacidad de la planta, eliminando los estrangulamientos y la adopción de medidas correctivas”.

Con esto logramos obtener resultados significativos sin ejecutar grandes proyectos que conlleven una inversión o costos muy elevados.

Cabe mencionar, que la productividad y la producción son temas distintos, ya que no necesariamente un aumento de la producción representa un aumento

en la productividad, en el campo de la economía, se entiende por productividad al vínculo que existe entre lo que se ha producido y los medios que se han empleado para conseguirlo (mano de obra, materiales, energía, etc.), la productividad suele estar asociada a la eficiencia y al tiempo. (Collins, 2012, p. 34)

En la industria de la producción de agregados para la construcción, se tiene el factor común de que la mayoría de maquinaria que se utiliza representa una inversión elevada, tanto en la compra inicial, como en la operación y mantenimiento, es por ello que es determinante el aprovechamiento al máximo de estos equipos.

Como lo menciona Montes (2015, p. 12): “Las grandes inversiones en instalaciones y máquinas no se pueden dejar en manos de procesos que no las rentabilicen”.

Por lo tanto se busca optimizar todos los recursos que sea posible así trabajar en el aumento de la productividad.

Puntualmente, en la empresa que se está realizando el presente trabajo de investigación, se tienen algunas limitantes en la maquinaria utilizada, esto es debido a que fue trasladada de la planta que funcionaba en Panamá, la mayoría de equipos fueron instalados y adaptados, originalmente el material que trituraban era distinto al que ahora se está trabajando, este fue uno de los factores que no se tomaron en cuenta al inicio fue el tipo de piezas de trituración que tenía el VSI y su efecto en la estrangulación del proceso, según Huerta (2014, p. 12) “esto es porque se tiene que tomar en cuenta las partes de las trituradoras”.

Otro de los equipos principales para la correcta producción de los agregados en cuestión, es la criba, aparatos de clasificación de los distintos tamaños de agregados, en este proceso en particular son las cribas horizontales las que se utilizan a lo largo del proceso, dichos equipos son bastante adaptables a los procesos, según el manual de Terex (2009, p.3) “debido a que tiene un rango de cribado bastante alto en función de las mallas que se utilicen”.

Una de las funciones principales de los sistemas de cribado, aparte del proceso de clasificación, es garantizar que los agregados estén dentro de los límites granulométricos que indican las normativas internacionales, para garantizar sus propiedades físicas y de calidad.

La norma ASTM (2015, p.45) menciona: “Todos los agregados o materiales utilizados como agregados, deben de cumplir con las especificaciones granulométricas para garantizar las propiedades físicas y mecánicas para los cuales serán utilizados”.





### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La configuración de la planta no permite una mayor producción de agregado de 3/8" y cualquier aumento o disminución de carga de materia prima altera la curva granulométrica y no permite que dicho producto terminado esté dentro de los parámetros solicitados por las normas ASTM.

#### **3.1. Descripción del problema**

Agregados de Guatemala, S.A. es una empresa que nace en marzo del 2004, de la fusión de tres grandes productoras de agregados para la construcción las cuales eran Prohinsa, Universal y La Pedrera, actualmente cuenta con 8 plantas ubicadas en las distintas regiones del país, la planta en la cual se realiza la investigación es en planta Palín Este.

La planta inició operaciones en abril del año 2,015, se instaló en base a un plan de negocios para atender a clientes especiales los cuales tienen una demanda establecida basada en los proyectos que tienen licitados a nivel nacional para los próximos años, dicha demanda es de 50,000 metros cúbicos mensuales, se proyecta que aumentará en un 5% cada año por los próximos 5 años, derivado de esto se estableció que dicha planta atenderá únicamente a estos clientes. De esta demanda se tiene proyectado que la producción debe estar conformada por un 40% de agregado de 1", 41 % de agregado de 1/4" y 19% de agregado de 3/8"; desafortunadamente la configuración de la planta no permite obtener este porcentaje de agregado de 3/8", logrando únicamente un 15% de la producción total, esto es debido a varios factores al momento del montaje del equipo, desde configuraciones de mallas de cribado (clasificación

de productos) hasta la selección de elementos de trabajo de la trituradora de eje vertical (cámara de trituración de roca contra roca).

Debido a esta necesidad de aumentar la productividad en la producción de agregado de 3/8", es necesario hacer modificaciones en los equipos para lograr cubrir la demanda solicitada, esto se plantea de esta forma, ya que los equipos están trabajando por debajo de su capacidad nominal.

### **3.2. Formulación del problema**

- Pregunta Central:
  - ¿Cómo se puede aumentar la productividad de la planta para lograr mayores volúmenes de producto terminado de 3/8" y lograr satisfacer la demanda de los clientes cumpliendo con los parámetros de la norma ASTM C33?
  
- Preguntas de Investigación
  - ¿Cuál es la capacidad instalada de la planta de trituración?
  - ¿Qué modificaciones son necesarias en los equipos principales de trituración y clasificación para optimizar la producción de agregado de 3/8"?
  - ¿Cómo se puede aumentar la carga de materia prima al proceso para aumentar la producción de material de 3/8" sin afectar el cumplimiento de los parámetros de la norma ASTM C33?
  - ¿Qué beneficios y cuáles son los costos asociados al realizar modificaciones en los equipos principales de trituración?

### **3.3. Delimitación del problema**

Este proyecto se trabajará desde el mes de mayo a julio de 2,016 en una empresa productora de agregados para la construcción, específicamente en la planta que atiende a clientes especiales, en el área de trituración terciaria que incluye una trituradora de eje vertical y una criba de selección y clasificación de producto de 3/8".

### **3.4. Variabilidad**

Este proyecto presenta la ventaja que se posee los elementos y partes de recambio necesarios para la modificación de los equipos, el personal capacitado para dichos cambios y el capital necesario el cual fue presupuestado en el proyecto de montaje de la planta. No existe algún motivo que detenga el poder realizar esta modificación, debido a que para la empresa este proceso es de suma importancia para lograr cubrir la demanda de los clientes.

### **3.5. Consecuencias**

#### **3.5.1. Si se realiza el trabajo de investigación**

- Se espera generar un cambio que mejore la operación diaria de la empresa, aumentando la productividad de la planta con las mismas maquinas que se tienen instaladas y que genere una calidad adecuada del producto y una optimización del proceso de producción de agregado de 3/8".
- La reducción de producto no conforme y disminución del porcentaje de devoluciones por parte del cliente.

- La reducción de reprocesos del producto no conforme debido a que se disminuye el porcentaje del mismo.
- Aumento en la productividad del proceso productivo y el aumento en el aprovechamiento de la capacidad instalada de la maquinaria de planta.

### **3.5.2. Si no se realiza el trabajo de investigación**

- Aumento de producto no conforme y aumento de reclamos por parte de los clientes.
- Aumento en el costo de producción ya que la productividad es baja y los costos se mantienen.
- Poca capacidad de cubrir la demanda de los clientes.

## 4. JUSTIFICACION

La línea de investigación que se utilizará es la implementación de sistemas de planificación de la producción: planeación de requerimientos de materiales y de recursos productivos.

Las asignaturas de la maestría en gestión industrial que ayudan para enriquecer este proyecto son: Ingeniería de la productividad, valorización económica de procesos productivos, gestión de recursos humanos en la industria, entre otros.

El proyecto surge de la necesidad de cumplir con la demanda de producto terminado y los requerimientos normados de un cliente en específico, sobre un producto en específico, debido a que con la capacidad instalada de la planta no se lograría cumplir con la demanda del producto solicitado ni las especificaciones de calidad requeridas, además de que se tiene que este proceso productivo en específico, tiene influencia negativa sobre la productividad de la planta de producción.

La motivación principal del investigador está en poder aplicar las técnicas y conocimientos adquiridos durante el estudio de la maestría en una planta donde se pueden llevar a cabo las pruebas necesarias para que el proyecto funcione.

La importancia de la investigación planteada se debe a que logrará identificar procesos específicos que están influenciando la productividad de la operación y el resultado de la curva granulométrica del producto de 3/8", como

lo es el proceso de trituración en la trituradora de eje vertical y el proceso de selección y clasificación en el cribado. Esto afecta directamente el producto terminado.

Estos cambios benefician tanto a la empresa productora como al cliente, mediante realizar procesos productivos optimizados y garantizamos que el cliente recibirá la cantidad de producto solicitado y con las especificaciones requeridas lo cual influye directamente en una mejor planificación de sus actividades.

## 5. OBJETIVOS

### General

Incrementar la productividad de producto terminado de 3/8" mediante modificación mecánica de los equipos principales de trituración en una planta de agregados para la construcción.

### Específicos

1. Establecer la capacidad instalada de la planta de trituración.
2. Determinar las modificaciones necesarias en los equipos principales de trituración para aumentar la productividad en el producto terminado de 3/8".
3. Determinar la variación entre la productividad inicial y la productividad obtenida con los cambios realizados sin afectar los parámetros de la norma ASTM C33.
4. Establecer cuáles son los costos incurridos así como los beneficios al realizar las modificaciones en los equipos principales de trituración.





## **6. NECESIDADES LABORALES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Con el presente diseño de investigación se busca cubrir las siguientes necesidades:

- Aumentar la productividad del pedrín de 3/8" para poder cumplir con la demanda de los clientes.
- Establecer la capacidad instalada de la planta para definir los puntos de mejora y los indicadores más importantes y que guiarán la investigación.
- Determinar en base a ensayos y pruebas en la maquinaria, cuáles deberían ser las mejoras y modificaciones a los equipos de trituración para lograr la productividad deseada.
- Obtener un dato inicial para la productividad de la planta que se tiene al momento del inicio de la investigación, esto servirá como referencia para medir el avance del proyecto.
- Establecer el costo en el que incurrirá la empresa para lograr obtener la productividad requerida en el pedrín de 3/8".

Para lograr satisfacer las necesidades anteriores, el trabajo de investigación se basará en el siguiente esquema de solución:

- Se recopilará la literatura necesaria para tener una base documental adecuada al trabajo de investigación.
- Se establecerá la capacidad instalada de la planta de producción.

- Se determinarán las modificaciones que sean necesarias en los equipos principales de trituración para aumentar la productividad del producto terminado de 3/8".
- Se determinará la variación entre la productividad inicial y la productividad obtenida luego de los cambios realizados.
- Se establecerán cuáles son los costos y beneficios para obtener estos beneficios.
- Se incrementará la productividad del producto terminado de 3/8".

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Plantas de trituración y producción de agregados para la construcción**

La industria de construcción demanda la existencia de empresas productoras de agregados, para satisfacer la necesidad de productos variados con estándares de calidad mundial.

La producción de agregados, que constituyen la materia prima indispensable para la producción de obras de concreto, asfalto, block y otros elementos prefabricados en general, busca la máxima calidad de forma sostenida que el mercado mundial exige.

Esto se logra mediante obtener la mejor materia prima de las distintas canteras y sus tipos, tecnología de punta, personal calificado y laboratorios bien equipados.

#### **7.1.1. Construcción**

##### **7.1.1.1. Concreto**

Hoy por hoy, vemos que uno de los materiales de construcción más utilizados es el concreto.

Smith (2013) define el concreto como “el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento), arena, grava o piedra machacada y agua, que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales” (p. 10).

Otra definición de concreto nos dice lo siguiente:

Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los agregados (que se clasifican en grava, gravilla y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para la realizar la mezcla. (Tas, 2011, p. 87)

Según las grandes empresas de productos de construcción, tenemos que:

Los agregados se obtienen de minas de áreas naturales ya sea a cielo abierto o de fosas con presencia de arena y grava, canteras con bastante presencia de roca con gran dureza, dragado en afluentes de agua con depósitos inmersos o extracción de sedimentación subterránea. Cemex (2015, p. 6)

## **7.2. Agregados para la construcción**

A continuación se explican los agregados como la grava, gravilla y arena.

### **7.2.1. Agregados y sus tipos**

A continuación se describen los agregados y sus tipos.

#### **7.2.1.1. Agregados naturales**

Encontrar agregados naturales para la construcción es relativamente sencillo, por ejemplo:

Tas (2011, p3) menciona que los agregados “son los que se utilizan, únicamente, después de una modificación en su tamaño para adaptarlos a las necesidades de la construcción”.

#### **7.2.1.2. Agregados por trituración**

En el caso de los agregados por trituración tenemos que:

Tas (2011, p3) menciona que: “son aquellos que se obtienen de la trituración de rocas diferentes de cantera o de las que han sido rechazadas en los análisis granulométricos de agregados naturales”.

#### **7.2.1.3. Agregados artificiales**

Como la mayoría de los materiales para la construcción también tenemos agregados artificiales, por ejemplo:

Llamados sub-productos, provienen de procesos industriales que generan escorias o material de demoliciones pero que se pueden utilizar y son reciclables. En las distintas obras se recomienda reciclar cascajo o material proveniente de demolición en los vaciados de cimentaciones, calzaduras, sub-zapatas y pisos falsos. Tas (2011, p3).

#### **7.2.1.4. Piedra triturada y arena manufacturada**

Según las grandes empresas productoras de materiales para construcción tenemos que:

Productos que se obtienen extrayendo rocas y pasándolas por un proceso de trituración hasta llegar al tamaño requerido. En el caso de las arenas que son manufacturadas, el producto se obtiene triturando la roca hasta que se obtiene la forma o textura deseada, asegurando cumplir las especificaciones del producto, cliente o proyecto. Las fuentes más comunes triturar roca pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas. Cemex (2015, p. 2)

### **7.3. Propiedades de los agregados**

Las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados, como su peso volumétrico, solidez resistencia a la abrasión y las características térmicas, influyen en la resistencia y en el endurecimiento, así como también en la durabilidad y la resistencia al intemperismo.

Los agregados para concreto deben estar formados de partículas duras y compactas (peso específico elevado) de textura y forma adecuada con una buena distribución de tamaños (buena granulometría). Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos

tienen porcentajes altos de material liviano o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia. Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33, la cual se describe de forma general a continuación. (Santizo, 2013, p. 1)

Otras de las pruebas que se realizan en laboratorio, es la prueba de granulometría de los agregados, específicamente la prueba de módulo de finura para agregados, es este caso sería la norma ASTM C-136 que nos habla del cumplimiento de cierta cantidad en porcentaje total, de diferentes medidas de partículas en la porción de la muestra. (Norma NTG 41010-h1 ASTM C33, 2015).

Las propiedades de los agregados que se analizan en diversas pruebas tanto de laboratorio como de campo son:

### **7.3.1. Granulometria**

Un concepto básico e importante en los agregados es la granulometría la cual se puede definir como:

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado lo cual se determina por análisis con tamices (norma ASTM C33). El tamaño de partícula del agregado se verifica por medio de tamices de malla de alambre con aberturas de forma cuadrangular o cuadradas. Son siete los tamices estándar ASTM C33 para análisis de agregado fino y tiene aberturas que varían desde mallas con No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm. (ASTM International, 2015. P 34)



### **7.3.2. Módulo de fineza**

En el caso de los agregados, tenemos una propiedad que se llama módulo de fineza, el cual se define como:

En las normas ASTM International (2015, p34) mencionan que “este criterio fue establecido en el año de 1925 por Duff Abrams, quien indica que a partir de las granulometrías de un material se puede intuir el grado de fineza promedio que tiene dicho materia”.

### **7.3.3. Contenido de finos**

El cual es una referencia de muchos agregados, lo podemos definir como:

El contenido de material fino, también nombrado como polvo no hace referencia al contenido de arena fina, tampoco a la cantidad de piedras de menor tamaño, sino a la cantidad de suciedad que está presente en los agregados (inferiores a 0,075 mm). Esta cantidad de finos tiene importancia en dos aspectos: si la cantidad de suciedad es alta, habrá una demanda mayor de agua, ya que la superficie a mojar aumenta y por consiguiente también aumentará el contenido de cemento si deseamos mantener constante la relación agua/cemento; Si el polvo finamente se adhiere a los agregados, la unión con la pasta no es buena y por lo cual la interface mortero-agregado será débil donde más adelante se puede originar la rotura del concreto. (ASTM International, 2015. P 34)

### **7.3.4. Propiedades físicas**

A continuación se describen las propiedades físicas.

#### **7.3.4.1. Densidad**

Esta propiedad es parte de las mediciones para la resistencia a esfuerzos de los agregados y se indica lo siguiente:

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de porosidad del material en sí. La densidad en los agregados es importante en especial para casos en que se busca un diseño de concretos de bajo o alto peso unitario. Las densidades bajas también indican un material poroso y débil y que tendrá una absorción alta. (Tas, 2011, p23).

#### **7.3.4.2. Porosidad**

Otra propiedad relacionada con la resistencia al esfuerzo de los agregados y tenemos que:

Esta palabra viene de poro lo cual significa un espacio no ocupado por materia sólida en el agregado, es una de las propiedades principales del agregado por su influencia en sus otras propiedades, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad. (Tas, 2011, p23).

#### **7.3.4.3. Peso unitario**

Es la relación que hay entre masa y volumen del agregado y tenemos que:

El peso unitario es el resultado de dividir el peso de todas las partículas de la muestra entre el volumen total ocupado, incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma que estos se acomodan. Este procedimiento se encuentra normalizado en la ASTM C29 y NTP 400.017. Esta información es muy útil en especial para hacer las determinaciones de pesos a volúmenes y viceversa. (Tas, 2011, p23).

#### **7.3.4.4. Porcentaje de vacíos**

Es el porcentaje del volumen total que ocupan los espacios entre las partículas de agregados, depende de la forma en que se acomodan las partículas por lo que es un valor relativo como lo es también en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29

Dónde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado.

#### **7.3.4.5. Humedad**

En los agregados, en la mayoría del tiempo se encontrará humedad debido a que en su fabricación se tiene varios procesos a cielo abierto.

Según Tas (2011, p23) “es la cantidad de agua retenida en la superficie de la partícula, e influye en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla a utilizar”.

### **7.3.5. Propiedades resistentes**

Estas propiedades, son parte de las propiedades físicas del agregado, las cuales ayudan a definir si un agregado cumplirá con las exigencias a las cuales será sometido.

#### **7.3.5.1. Resistencia**

Esta propiedad está ligada a los esfuerzos a los cuales será sometido el agregado, siendo utilizado ya en mezclas de concreto, tenemos que:

El concreto no puede tener una mayor resistencia que los agregados; la textura, la estructura y la composición de las partículas del agregado tienen influencia directa sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados entre sí serán débiles. La resistencia a la compresión del agregado deberá ser de tal manera que permita a la matriz cementante una buena resistencia. (Tas, 2011, p24).

#### **7.3.5.2. Tenacidad**

Otra de las claves para poder obtener una construcción adecuada, es conocer qué tanto impacto resistirá el agregado, para esto tenemos que:

Tas (2012, p24) menciona que “esta característica se asocia con la resistencia al impacto de un material. Está directamente relacionada con la flexión, angulosidad y textura del material”.

#### **7.3.5.3. Dureza**

Debido a las cargas y esfuerzos a los que son sometidos los agregados, una de las propiedades importantes es la dureza, la cual se puede definir como:

La dureza de un agregado se define como su resistencia a la erosión y abrasión o en general al desgaste. Esta resistencia de las partículas depende de cómo está constituida. Las rocas que se utilizan en concretos deben ser resistentes a los distintos procesos de abrasión o erosión y pueden ser la cuarcita, cuarzo, rocas densas de origen volcánico y las rocas compuestas con silicio. (Tas, 2011, p24).

#### **7.3.5.4. Módulo de elasticidad**

La elasticidad es una capacidad de los materiales a poder cambiar su forma original debido a un esfuerzo y de volver a su forma original al dejar de ser sometidos a dicho esfuerzo, también se puede definir como:

El cambio de los esfuerzos con relación a la deformación elástica, lo que se considera como una medida de la resistencia que tiene el material a la deformación. Es muy inusual realizar un análisis del módulo de elasticidad en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también tienen elasticidades que van acorde al tipo de concreto. El módulo de elasticidad además influye en el

escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse. (Tas, 2011, p24).

#### **7.4. Agregados en la construcción y su importancia**

Son necesarias toneladas de agregados para construir una vivienda, recuerde que un automóvil promedio pesa una o más toneladas. La construcción de una escuela o de un hospital requiere de varios cientos de toneladas de agregados.

En la construcción de tramos carreteros, autopistas y calles se requiere de agregados, desde las capas base, hasta lo que se conoce como asfalto, lo cual se obtiene de una mezcla de agregados y derivados del petróleo. Un kilómetro de autopista puede necesitar hasta 35,000 toneladas de agregados (entre todas las capas que la conforman y agregados de distintas medidas).

#### **7.5. Normas ASTM**

Muchas son las organizaciones, normativas y convenios internacionales para las distintas mediciones de propiedades de materiales, entre ella encontramos a la ASTM la cual se define como:

Sociedad estadounidense para pruebas y materiales o ASTM por sus siglas en inglés (american society for testing materials), desde su fundación en 1898, ASTM International es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. Alrededor de 12,575 normas de consenso voluntario de ASTM, definidas y establecidas por nosotros, están vigentes a nivel mundial. Este trabajo, que se aplica a casi todas las áreas,

desde el acero hasta la sustentabilidad, mejora las vidas de millones de personas a diario. American society for testing materials [ASTM], (2014, p.2).

Muchas industrias globales eligen estas normas. Las normas de ASTM son utilizadas y aceptadas mundialmente y abarcan áreas como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos de consumo, servicios médicos, dispositivos y productos electrónicos, entre muchas otras. El proceso público con el que se crean nuestras normas es uno de los motivos por los cuales tantas y tan variadas industrias han realizado su trabajo de desarrollo de diversas normas dentro de ASTM International. (ASTM, 2014, p.3)

Profesionales de todo el mundo participan en el sistema ASTM, que reconoce la pericia técnica, no el país de origen. Casi el 50 % de las normas ASTM se distribuyen fuera de los Estados Unidos. Expertos, organizaciones y personas que representan la industria, el mundo académico, los gobiernos, las asociaciones comerciales, los consultores y consumidores, todos tienen una participación igualitaria para determinar el contenido de las normas. (ASTM, 2014, p.3).

Contar con tecnología flexible e innovadora contribuye a que los integrantes de ASTM elaboren las normas. Cada comité decide sobre su propio enfoque, que por lo general, combina reuniones presenciales con reuniones virtuales y nuestras áreas de colaboración en la Web. Otros recursos, como el sistema de votación electrónica, permiten que la elaboración de normas demore tan solo seis meses, y destacan el prestigio de ASTM para responder rápidamente a las necesidades y prioridades del comercio y la industria. (ASTM, 2014, p.3)

### **7.5.1. Norma ASTM C33 (análisis granulométrico de agregados finos y gruesos)**

Una de las normas que mayormente se utilizan como referencia, es la norma ASTM C33 para agregados finos y gruesos, la cual nos indica lo siguiente:

#### **7.5.1.1. resumen del método de ensayo**

Una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida se separa a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente más pequeñas para la determinación de la distribución por tamaño de partículas.

#### **7.5.1.2. Significado y uso**

Este método de ensayo se utiliza para determinar la graduación de materiales propuestos para su uso como agregados o que están siendo utilizados como agregados.

Los resultados se usan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos aplicables de la especificación requerida y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados. Los datos también pueden ser útiles para desarrollar relaciones concernientes a la porosidad y al acomodo de partículas. (ASTM, 2014, p.75).

Parte importante de la correcta evaluación de la productividad de los equipos utilizados en el proceso de trituración y producción de agregados para



la construcción, dentro de los cuales se encuentran los agregados finos, que pueden ser catalogados así a partir de la medida de 3/8" o menos.

Para ello es necesario mencionar primeramente algunas definiciones que se utilizarán en el presente trabajo.

## **7.6. Productividad**

Hoy en día existen varios textos y estudios respecto a la productividad, por ejemplo:

La relación entre lo invertido y lo producido. La productividad se refiere a la que genera el trabajo: la producción por cada trabajador o maquinaria, la producción por cada hora trabajada, o cualquier otro tipo de indicador de la producción en función del factor trabajo. Lo habitual es que la producción se calcule utilizando índices (relacionados, por ejemplo, con la producción y las horas trabajadas), y ello permite averiguar la tasa en que varía la productividad. Una de las claves del éxito de una empresa reside en saber incrementar la productividad. (Guevara, 2015, p. 7).

Otra definición que podemos encontrar nos dice:

La productividad es un indicador de rendimiento no vinculado a las condiciones de trabajo y al capital humano, y por ello, han sido mínimos los esfuerzos por correlacionarlos. Los datos económicos indican lo ocurrido, pero son los datos de las actividades de los trabajadores los que pueden ayudar a entender el porqué de lo sucedido. (Reyna, 2008, p. 23)

Uno de los conceptos importantes y que es adecuado para esta investigación, es el siguiente:

Montes, (2015, p.12) mencionó “Las grandes inversiones en instalaciones y máquinas no se pueden dejar en manos de procesos que no las rentabilicen. Los costes en el producto derivados de maquinaria trabajando a bajo rendimiento no se soportan”.

Observando estas definiciones podemos concluir que la productividad en el área industrial puede ser afectada, tanto positiva como negativamente, por varios factores entre los cuales podemos mencionar la materia prima, procesos, maquinaria, despachos, etc.

Entrando en materia, también podemos mencionar el punto de vista:

Hillier y Lieberman (2006) que menciona lo siguiente: “La productividad de las máquinas se manifiesta en la cantidad de unidades producidas por la máquina o las máquinas en un período de tiempo definido, una hora, un turno o una semana” (p. 46)

### **7.6.1. Productividad operativa**

Este término se refiere al aprovechamiento de la maquinaria mientras esté disponible, en base a las capacidades y limitaciones según los fabricantes, es decir, que si se tienen disponibles una maquina durante 8 horas diarias, con una capacidad nominal de 100 m<sup>3</sup> por hora, para lograr una productividad operativa del 100% deberíamos de poder producir 800 m<sup>3</sup>.

Este porcentaje de aprovechamiento también viene restringido por varios factores, uno de ellos podría ser por ejemplo cuellos de botella, factores

externos al proceso, factores ambientales, factores climáticos, factores sociales, etc.

## **7.7. Producción de agregado de 3/8”**

La mayor empresa productora de materiales para construcción nos indica:

Holcim El Salvador (2015, p1.) “El agregado de 3/8” está compuesto por fragmentos de roca limpia, resistente y durable obtenidos mediante un proceso de trituración de rocas extraídas de un depósito aluvial, que luego son clasificadas y lavadas para asegurar su calidad.

### **7.7.1. Usos del agregado de 3/8”**

Según la empresa Holcim El Salvador (2015, p5), el agregado se puede utilizar para:

- Elaboración de concreto hidráulico para: zapatas, soleras, vigas, columnas, pedestales, losas, pisos, aceras, cordones, cunetas, badenes, etc.
- Elementos prefabricados en los cuales el tamaño máximo real del agregado requerido no exceda 3/8”, tales como postes de concreto, bloques, adoquines y vigas.
- Elaboración de mezcla asfáltica.
- Otros usos como filtros para tratamiento de agua y aplicaciones arquitectónicas.

### **7.7.2. Ventajas del agregado de 3/8"**

Holcim El Salvador (2015, p6), nos indica que algunas de las ventajas de utilizar agregado de 3/8" son:

- Calidad estandarizada y controlada.
- Confiabilidad en los volúmenes.
- Mejor desempeño en la elaboración de concreto por una menor absorción, reduciendo su impacto en la Relación Agua/Cemento.
- Cumplimiento de todos los lineamientos Ambientales y de Seguridad e Higiene Ocupacional.
- Alta capacidad de producción y despacho.

### **7.8. Maquinaria para producción de agregados (trituración)**

Existen muchas marcas y modelos de equipos para trituración, así como fabricantes, dos de los equipos más utilizados en esta industria son la trituradora de eje vertical y las cribas o zarandas.

#### **7.8.1. Trituradora de impacto de eje vertical**

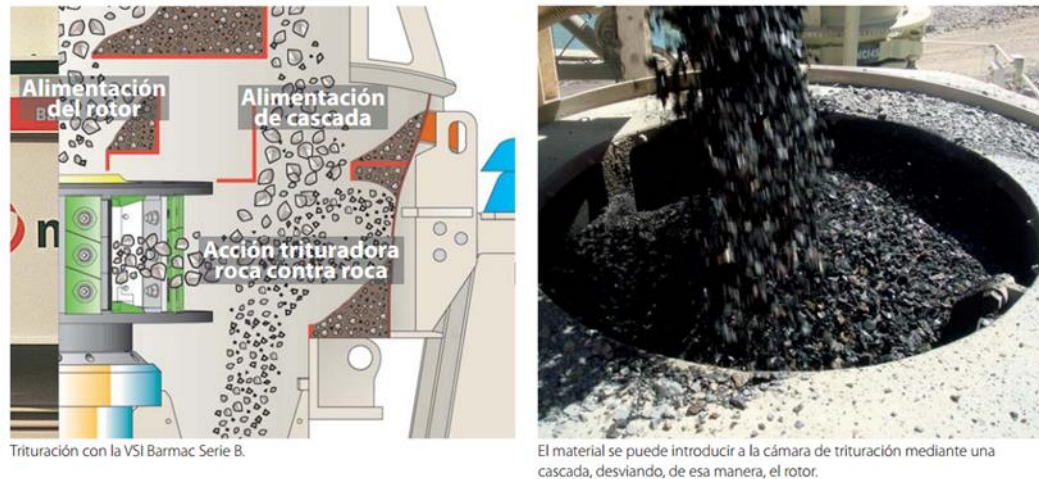
Las trituradoras de impacto de eje vertical o VSI por su nombre en inglés (vertical shaft impact), utilizan un enfoque diferente que implica un rotor de alta velocidad con puntas resistentes al desgaste y una cámara de trituración diseñado para 'tirar' la roca contra una cortina de roca que cae del mismo alimentador. Las trituradoras VSI utilizan la velocidad en lugar de la fuerza de superficie como la fuerza predominante para romper la roca.

En su estado natural, las rocas tienen una superficie irregular y desigual. La aplicación de la fuerza de superficie (presión) resulta en partículas impredecibles y por lo general no cúbicos. Utilizando la velocidad en lugar de fuerza de superficie permite que la fuerza de rotura que se aplica de manera uniforme tanto a través de la superficie de la roca, así como a través de la masa de la roca, independientemente de su tamaño, tiene fisuras naturales (fallos) en toda su estructura. Como la roca está siendo lanzada por un rotor VSI contra un yunque sólido o una cámara de trituración compuesta por la misma roca, fracturas y roturas a lo largo de estas fisuras. Metso's mining and construction technology (2011, p.5)

El tamaño de partícula final se puede controlar mediante 1) la velocidad a la que la roca se lanza contra el yunque o recámara y 2) la distancia entre el extremo del rotor y el punto de impacto en el yunque o recámara. El producto resultante de VSI de trituración es generalmente de forma cúbica consistente como la requerida por modernas aplicaciones. El uso de este método también permite que los materiales con mayor abrasividad a triturar que es capaz con una HSI y la mayoría de otros métodos de trituración. (Metso, 2011, p.5)

Las trituradoras VSI generalmente utilizan un rotor de hilado de alta velocidad en el centro de la cámara de trituración y una superficie de impacto exterior de cualquiera de los yunques de metal resistente a la abrasión o roca triturada. Utilizando yunques superficies de metal fundido que se conoce tradicionalmente como Zapato y Anvil VSI. Utilizando roca triturada en las paredes exteriores de la trituradora para la nueva roca para ser aplastado contra ella se conoce tradicionalmente como "roca en roca VSI". Trituradoras VSI se pueden utilizar en estática planta de la configuración o en el equipo móvil sobre orugas. (Metso, 2011, p.5)

Figura 1. **Cámara de trituración de un VSI**



Fuente: Metso Minerals, p. 6.

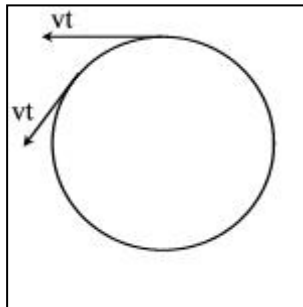
### 7.8.1.1. **Velocidad tangencial para la trituración**

El principio que utilizan las trituradoras de eje vertical, es impactar las rocas contra cámaras rígidas o contra la misma roca, esta fuerza de impacto es directamente proporcional al diámetro del rotor, conforme aumenta el diámetro del mismo, la velocidad tangencial aumenta con él, por lo que obtenemos una mayor fuerza en el impacto.

La velocidad tangencial es la velocidad del móvil (la distancia que recorrerá en la unidad de tiempo prevista). Por consiguiente para radios distintos y a la misma velocidad angular, el móvil se desplazará a velocidades tangenciales distintas. Si el radio es mayor y la cantidad de vueltas por segundo se mantiene, el móvil recorrerá una distancia (trayectoria) mayor, porque el perímetro de la circunferencia es mayor y por esto la velocidad tangencial también será mayor. La velocidad tangencial se mide en unidades de distancia

(espacio) sobre unidades de tiempo [m/s], [km / h], etc. Se obtiene como la distancia que recorrerá el móvil en un período de tiempo. (Seely 2015, p109)

Figura 2. **Velocidad tangencial**



Fuente: Mecánica analítica para ingenieros, p. 109.

Por ejemplo, si se recorre todo el perímetro de una circunferencia de radio 10 metros en 1 segundo, la velocidad tangencial es:

$$V_t = \frac{2\pi R}{t} = \frac{2\pi(10m)}{1s} = 62.83 \frac{m}{s}$$

La ecuación dada para el cálculo de la velocidad tangencial se expresa como: la velocidad angular multiplicada por el radio.

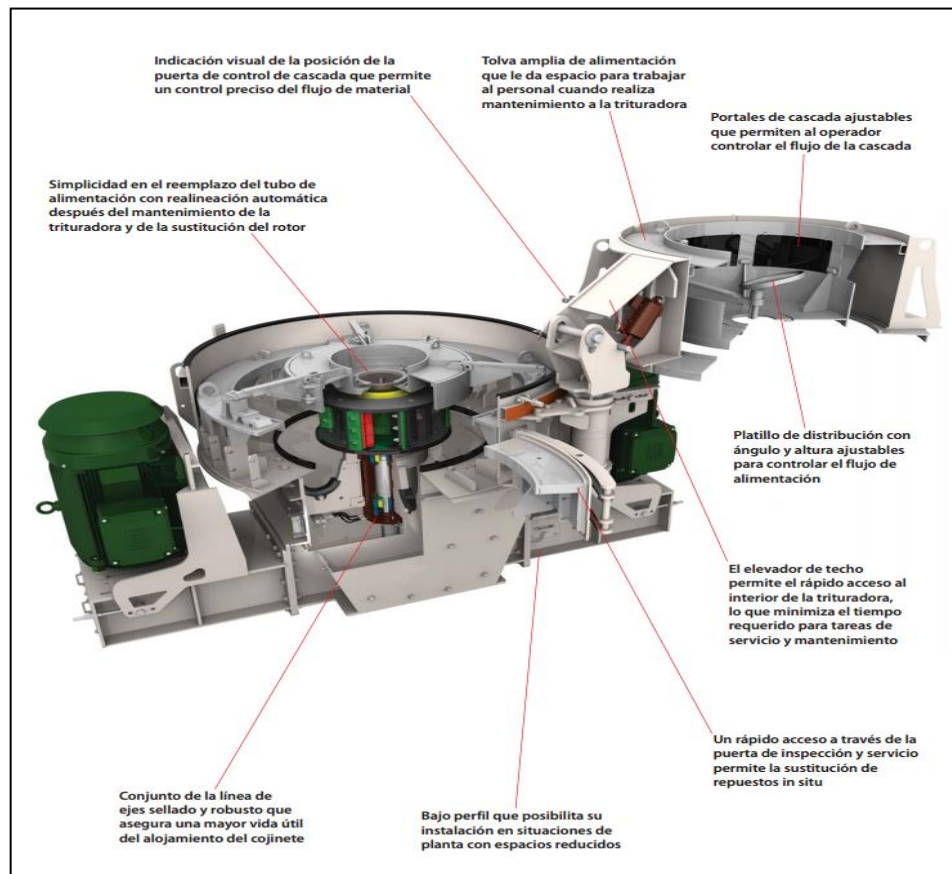
$$v = \omega r$$

Para el ejemplo anterior la calculamos como:

$$V_t = \omega r = \frac{2\pi \text{ rad/s}}{1s} * 10m = 62.83 \frac{m}{s}$$

Como indica Seely (2015, p110) “en movimiento circular uniforme, la velocidad tangencial es constante (en módulo) en el mismo punto. Si nos desplazamos a una distancia mayor del eje, aumentará la velocidad tangencial”.

Figura 3. Esquema de un VSI



Fuente: Metso Minerals, página 7



### **7.8.2. Criba horizontal**

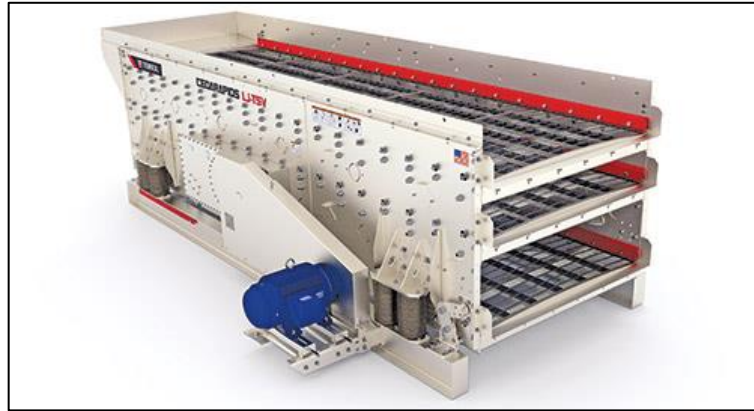
De acuerdo a la norma NMX-B-231-1990 (2010, p32) “Las cribas son un conjunto que consta de un marco, en el cual se realiza el montaje de mallas de alambre entre tejido”.

La malla es una tela de alambre, el cual puede ser de diferentes medidas y se entreteje con aberturas cuadradas de medida uniforme. La abertura de la malla es la separación libre entre los alambres los cuales forman cada cuadro. (Normas mexicanas de maquinaria para la clasificación de materiales granulares, 2010, p.32).

El marco se fija la malla, en el cual, para evitar su deformación se puede ensamblar con otro marco. Cuando se trate de cribas metálicas anulares, la tapa y el fondo complementan el equipo como partes de este, las cuales se pueden ensamblar a otras cribas como otros niveles y así evitar la pérdida del material. (Normas mexicanas de maquinaria para la clasificación de materiales granulares, 2010, p.32).

Para la malla de las cribas se pueden utilizar diferentes materiales metálicos que sean rígidos y resistente a la corrosión y abrasión como: latón, bronce o aceros inoxidables. El alambre no se debe recubrir o enchaparse y debe tener igualdad de tensión en todas las direcciones de tal manera que no se altere la geometría de la malla. (Normas mexicanas de maquinaria para la clasificación de materiales granulares, 2010, p.32).

Figura 4. **Criba Horizontal de 3 Pisos**



Fuente: TEREX Cedarapids. p. 5.



## 8. PROPUESTA DE CONTENIDOS

A continuación se listan los capítulos que estarán dentro del trabajo de investigación:

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plantas de trituración y producción de agregados para la construcción

2.1.1. Construcción

2.1.1.1. Concreto

2.2. Agregados para la construcción

2.2.1. Agregados y sus tipos

2.2.1.1. Agregados naturales

2.2.1.2. Agregados por trituración

2.2.1.3. Agregados artificiales

2.2.1.4. Piedra triturada y arena manufacturada

- 2.3. Propiedades de los agregados.
  - 2.3.1. Granulometría
  - 2.3.2. Módulo de fineza
  - 2.3.3. Contenido de finos
  - 2.3.4. Propiedades físicas
    - 2.3.4.1. Densidad
    - 2.3.4.2. Porosidad
    - 2.3.4.3. Peso unitario
    - 2.3.4.4. Porcentaje de vacíos
    - 2.3.4.5. Humedad
  - 2.3.5. Propiedades resistentes
    - 2.3.5.1. Resistencia
    - 2.3.5.2. Tenacidad
    - 2.3.5.3. Dureza
    - 2.3.5.4. Módulo de elasticidad
- 2.4. Agregados en la construcción y su importancia
- 2.5. Normas ASTM
  - 2.5.1. Norma ASTM C33
    - 2.5.1.1. Resumen del método de ensayo
    - 2.5.1.2. Significado y uso
- 2.6. Productividad
  - 2.6.1. Productividad operativa
- 2.7. Uso de agregado de 3/8"
  - 2.7.1. Ventajas del agregado de 3/8"
- 2.8. Maquinaria para producción de agregados (Trituración)
  - 2.8.1. Trituradora de impacto de eje vertical
    - 2.8.1.1. Velocidad tangencial para la trituración
  - 2.8.2. Criba horizontal

3. PROPUESTA

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

A continuación se describirán las técnicas, métodos y procedimientos que se utilizarán para lograr los objetivos planteados para esta investigación.

### **9.1. Tipo de estudio**

Se utilizará el tipo de estudio correlacional descriptivo, ya que se pretende establecer si la modificación del funcionamiento de los equipos de trituración mantienen una correlación directa con los cambios en la productividad del proceso, esto quiere decir, si el aumento del desempeño de los equipos coincide con el aumento de la productividad del proceso de producción de material de 3/8", así como describir los pasos que se han realizarán.

### **9.2. Diseño de la Investigación**

Se realizará un diseño de investigación experimental, debido a que es necesario utilizar análisis de laboratorio de control de calidad para el correcto análisis de los resultados obtenidos en cada corrida de producción a realizar durante los meses en que se realizará el estudio, con lo cual tenemos una parte con enfoque cuantitativo, pero los análisis de laboratorio nos mostrarán gráficas del comportamiento de las tendencias granulométricas con lo cual podemos indicar que también tendrá en parte un enfoque cualitativo, por lo tanto, el diseño de investigación en general tendrá un enfoque mixto.

La investigación permitirá determinar el comportamiento del volumen de producción en el producto terminado, teniendo como primeras lecturas, el



cambio en el porcentaje de producción, únicamente, realizando el cambio del rotor en el SVI, luego de tener estos resultados, se procederá a efectuar el cambio de mallas de cribado para controlar las posibles desviaciones del producto terminado con respecto a las especificaciones del cliente y de la norma ASTM C33 para agregados finos y gruesos.

### **9.3. Alcance**

Esta investigación tenemos un alcance descriptivo, ya que se busca especificar las propiedades y características del fenómeno que será sometido a análisis, en este caso será la productividad de la planta, además el estudio estará basado en el método experimental, también conocido como el método empírico, con un enfoque cuantitativo con respecto a los resultados que se irán obteniendo a lo largo de dicha investigación. Las pruebas realizadas durante la investigación serán recabadas por el departamento de producción y control de calidad quienes apoyarán con la base de datos de configuraciones y resultados de las curvas granulométricas, todas estas actividades ayudarán a mejorar tanto en el proceso productivo, como en los procesos de control de calidad, optimización de procesos y mejora continua de la empresa.

Este proyecto abarcará a una sola planta, en el área de trituración terciaria para el producto de 3/8", que se distribuye a un único cliente mayoritario y especial, con esto logramos obtener un punto de partida para poder realizar los mismos procedimientos en las distintas plantas de la empresa en cuestión, logrando así, una optimización no solo en la producción de productos finos, sino también en la optimización del proceso de producción total.

#### **9.4. Variables e Indicadores**

En base a los objetivos del presente trabajo de investigación, las variables e indicadores son los siguientes:

- Producción total del producto: este dato corresponde al producto total producido en un tiempo determinado ( $m^3$  totales), el indicador está dado por el reporte de producción mensual de planta.
- Productividad por producto: este dato corresponde a la cantidad de producto terminado en una hora de trabajo de la maquinaria ( $m^3/hr$ ), el indicador también nos lo muestra el reporte de producción mensual de planta.
- Granulometría: este dato corresponde al comportamiento del agregado a lo largo de la curva granulométrica, el indicador es la variación con respecto a los límites granulométricos según la norma ASTM C33.
- Costos de mantenimiento mensuales: este dato corresponde a los costos de mantenimiento incurridos en un mes de producción, este dato se obtiene del reporte gerencial mensual de planta.

Tabla I. **Variables e indicadores**

OBJETIVO	VARIABLES	INDICADORES	FORMA DE MEDICIÓN
Establecer la capacidad actual de la planta.	Producción total por producto, dada en metros cúbicos.	Reporte de producción mensual de planta.	Promedio de la producción diaria, tomando como muestra una semana de producción.
Determinar las modificaciones necesarias en los equipos de trituración.	*Productividad por producto en metros cúbicos por hora (m <sup>3</sup> /hr). *Resultados granulométricos obtenidos en laboratorio.	*Reporte de producción mensual de planta. *Gráfica granulométrica según pruebas ASTM C33.	*Diferencia entre el % de producto terminado al final de cada prueba y el % al inicio de cada prueba. *Diferencia entre la gráfica granulométrica obtenida al inicio de cada prueba y la gráfica granulométrica obtenida al final de cada prueba.
Determinar la variación entre la productividad inicial y la productividad obtenida con las modificaciones.	Productividad por producto en metros cúbicos por hora (m <sup>3</sup> /hr).	Reporte de producción mensual de planta	Diferencia entre el % de producto terminado al final de cada prueba y el % al inicio de cada prueba.
Establecer cuáles son los costos incurridos al realizar las modificaciones en los equipos de trituración.	Costos de mantenimiento mensuales.	Reporte gerencial mensual de planta.	Cálculo de los costos incurridos en las modificaciones según ordenes de trabajo realizadas en las mismas.

Fuente: elaboración propia.

## 9.5. Población y muestra

Para el cálculo de la muestra a estudiar, se utilizará la fórmula para cálculo de la muestra de poblaciones finitas, la cual es:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde

N = total de la población (cantidad de días de producción)

Z<sub>α</sub> = 1,96 al cuadrado (si la seguridad es del 95 %)

p = proporción esperada (en este caso 5 % = 0,05)

q = 1 – p (en este caso 1-0,05 = 0,95)

d = precisión (en su investigación use un 5 %).

También se tiene lo siguiente:

Población: La población será el historial de producción de abril de 2015 a abril de 2016.

Muestra para el cálculo de la productividad del equipo instalado: según el resultado al sustituir valores en la fórmula, luego se calculará la productividad de mayo a julio de 2016 y poder realizar las comparaciones correspondientes.

#### **9.6. Fases de la Metodología**

El procedimiento de la investigación se divide en cinco fases:

- Fase 1: Revisión documental.
  - Se realizará una recopilación de literatura para realizar una investigación documental.
  - Se investigarán variedad de libros, artículos, revistas y tesis correspondientes al tema de agregados para la construcción.
  - Se definirá un marco teórico el cual será la base del trabajo de investigación.
  
- Fase 2: Cálculo de la capacidad instalada de la planta de trituración.
  - Se realizará una recopilación de los informes del área de control de calidad y laboratorio, para determinar los parámetros que se deben de cumplir en las especificaciones de cada producto y en especial el material de 3/8".

- Se realizará una revisión de los datos históricos de producción del mes de abril de 2015 hasta el mes de abril de 2016 analizando cada uno de los productos de la planta para determinar la capacidad instalada de la planta y tener un punto de referencia para el inicio de la investigación.
- Se determinará la cantidad de muestra a tomar en base a la fórmula para cálculo de muestras en poblaciones finitas.
- Fase 3: Modificaciones y mejoras mecánicas a los equipos de trituración.
  - Se realizarán las modificaciones mecánicas al VSI según el plan propuesto.
  - Se tomarán los datos obtenidos de la productividad y calidad de los materiales producidos luego de la modificación del VSI.
  - Se realizarán las modificaciones mecánicas en la criba vibratoria según el plan propuesto.
  - Se tomarán los datos de la productividad y calidad de los materiales producidos luego de la modificación de la criba vibratoria.
- Fase 4: Calculo de productividad obtenida luego de las mejoras y modificaciones mecánicas a los equipos de trituración.
  - Se realizará el cálculo de la productividad obtenida en cada una de las pruebas.
  - Se realizará una comparación entre el dato de la productividad obtenida durante el período de prueba y la productividad que se calculó al inicio del estudio.

- Se determinará el porcentaje de cambio obtenido con las mejoras y modificaciones a los equipos de trituración.
- Fase 5: Calculo de costos de las mejoras y modificaciones a los equipos de trituración.
  - Se realizará el cálculo de los costos derivados de las mejoras y modificaciones mecánicas, en base a materiales y repuestos utilizados, mano de obra, costos de paro, etc.
  - Se determinará si estos costos serán recurrentes o si serán únicamente al inicio del proyecto.



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

La técnica para analizar la información, será la estadística inferencial, ya que necesitamos determinar las propiedades de la producción a futuro, a partir de los resultados obtenidos en el muestreo de datos. Para la obtención de la información se tendrá acceso a los reportes diarios de producción de toda la planta, así como a los controles de configuraciones mecánicas de los equipos y acceso a los análisis de laboratorio de Control de Calidad.

Al tener acceso a esta información, garantizamos que los datos son verídicos y confiables, tener dicha información en la planta, nos ahorra recursos, esto debido a que no es necesario trasladarse de un lugar a otro para obtener dicha información.

Se analizará la información por medio de la técnica de estadística descriptiva de representación gráfica. Esto nos permitirá tener una mejor idea de la variación de los datos con el transcurrir de los días e incluso meses. Es importante tener todo este tipo de información la cual se genera directamente del lugar de estudio y nos permite tener un panorama real y concreto de los resultados obtenidos.

### **10.1. Análisis y Obtención de la Información**

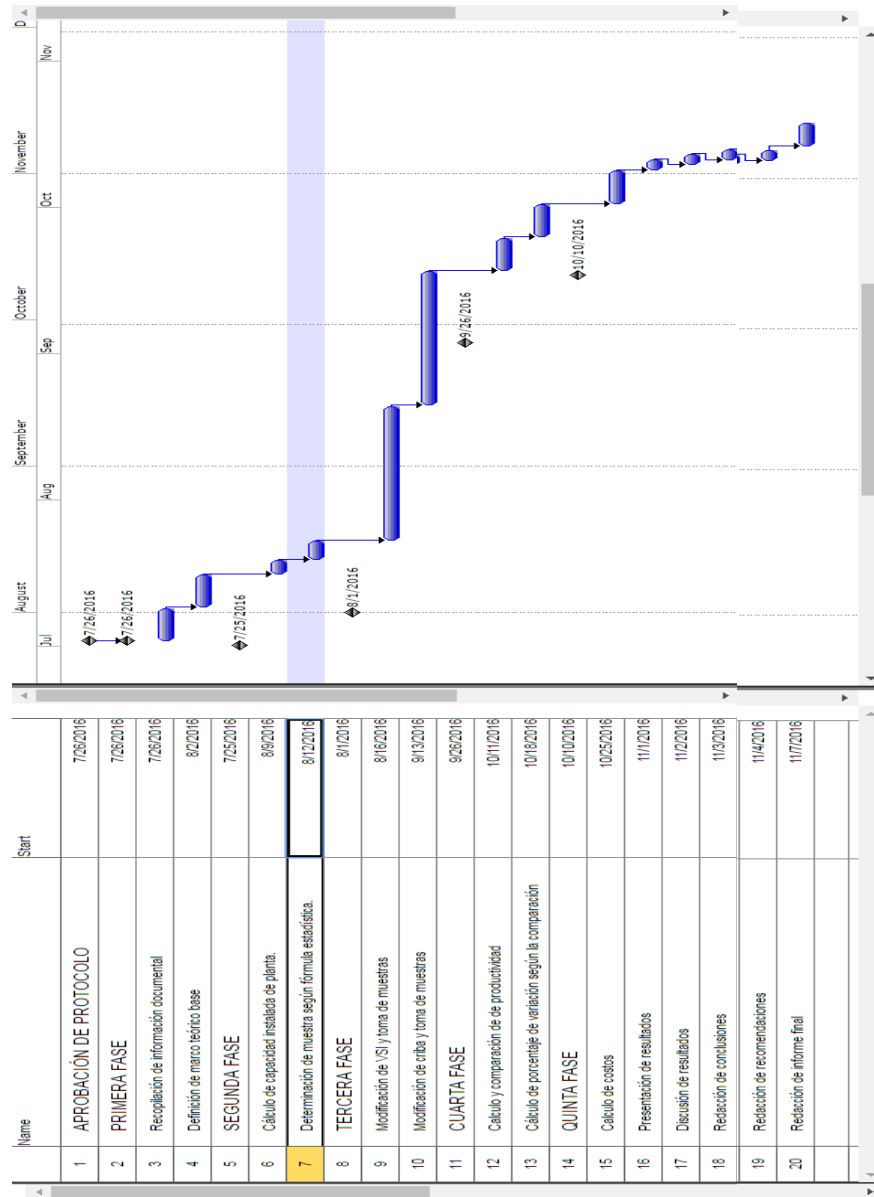
Las herramientas que se utilizarán para la recopilación de información serán los distintos reportes de producción que se llevan en la planta de producción.



Para el análisis de la información se verificará el registro de producción diaria del producto de 3/8", por medio del cual se determinará el cambio en la productividad. También se tomará en cuenta el dato de producción de los demás productos y de la cantidad de materia prima que está ingresando al inicio del proceso.

# 11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma



Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio es factible de realizar, debido a que la empresa tiene un concepto muy claro de qué es lo que quiere lograr, pero no ha podido realizar pruebas en específico para determinar las acciones a seguir y así llegar a tener la productividad necesaria y para poder cumplir con la demanda creciente de los productos que comercializa.

La empresa cuenta con todos los recursos necesarios, tanto de tiempo, recursos humanos, materiales y repuestos, además de esto, la empresa muestra gran interés con verificar estos resultados, debido a que, derivados de los mismos se buscará replicar las modificaciones a otros equipos que se tienen en las distintas plantas a nivel nacional.

A continuación se detalla lo necesario para el estudio.

Tabla II. **Recurso humano**

<b>Recurso Humano</b>
Investigador (estudiante de Postgrado)
Asesor y revisor de la investigación
Colaboradores de la empresa

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Recursos Materiales**

<b>Recursos Materiales</b>
Computadora
Impresora
Materiales y útiles de oficina
Combustible
Cámara fotográfica
Manuales y bibliografía proporcionada por los proveedores del equipo a modificar
Repuestos y materiales
Grúa de 20 Ton (arrendada)

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Presupuesto**

<b>Actividad</b>	<b>Monto en Quetzales</b>
Asesoría	Q.2 500,00
Recursos Materiales (ver tabla II)	Q.10 000,00
Transporte	Q.500,00
Material bibliográfico	Q.1 500,00
Otros (hojas, impresiones, copias y materiales varios)	Q.1 000,00
<b>TOTAL</b>	<b>Q.15 500,00</b>

Fuente: elaboración propia.

El financiamiento para realizar el presente diseño de investigación, será dado por la empresa de producción de agregados donde se estará realizando el mismo.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Arias Reina, J. (2008). Control de tiempos y productividad. *La ventaja competitiva*, Mexico: Paraninfo Thomson Learning.
2. ASTM INTERNATIONAL. (2015). ASTM C33 – Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
3. CEMEX (2015). *Agregados*. Consultado el 28 de septiembre de 2015, de <http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/Agregados.aspx>
4. Collins, B. (2012, 15 de mayo). *La Producción y la productividad*. Consultado el 25 de septiembre de 2015, <http://es.efectosproductivos.net/Pamela143/la-produccion-productividad?related=1>
5. Gallego, A (2011, 27 de septiembre). *Definición y Factores de la Productividad*. Consultado el 25 de septiembre de 2015, [http://productividaddehoy.net/tinoco8/2definicion-y-factores-de-la-productividad?next\\_slideshow=1](http://productividaddehoy.net/tinoco8/2definicion-y-factores-de-la-productividad?next_slideshow=1)
6. García Criollo, R. (2006), *Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill.
7. General Application Guidelines. Rock Engineered Machinery CO. INC. (2015). Recuperado de <http://www.remcovsi.com/star.html>

8. Guevara Velasquez, E. (2015). *Análisis del costo estándar y productividad de la línea de sacos jumbo en una empresa de plásticos*, Guatemala: USAC.
9. Hillier, F. y Lieberman, G.J. (2006). *Introducción a la investigación de operaciones*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2006.
10. HOLCIM, (2015). *Estudio técnico de Agregados de 3/8" Planta El Salvador*. EL SALVADOR: HOLCIM EL SALVADOR.
11. Huerta, C. (2014, 15 de Abril). *Granulometría de los agregados*. Consultado el 30 de septiembre de 2015, <http://es.estudiosdeagregados.net/carloshuerta7737/granulometrico-de-los-agregados-articulo>
12. Metso Minerals (2015). *Manual de Trituración*. Estados Unidos: Metso Minerals.
13. Metso Minerals (2015). *Metso's Mining and Construction Technology*. Estados Unidos: Metso Minerals.
14. Rock Engineered Machinery CO. INC. (2005). *Manual de Operación y Mantenimiento para los Modelos VSI y VSG*, Estados Unidos: REMCo.
15. Smith, A. (2013, 27 de mayo). *Ensayo de Agregados*. Consultado el 30 de septiembre de 2015, en la base de datos de <http://co.impreagregadosXXI.co/ANGELSZQ/ensayoagregados?related=1>

16. Tas, D. (2011, 5 de noviembre). *Estudio tecnológico de los agregados fino y grueso*. Consultado el 30 de septiembre de 2015, <http://tecnologiasytecnicas/construccion/dens15tas/estudiotecnologico-de-los-agregados-fino-y-grueso>
  
17. TEREX Cedarapids (2009). MPS Materials Processing Systems. Cribas Horizontales de Triple Eje. Recuperado de <http://www.terex.com/minerals-processing-systems/en/products/screens/horizontalscreens/cedarapids-jl-ts-series/index.htm>
  
18. TEREX Cedarapids (2009). Operation & Maintenance Manual. Estados Unidos: Terex USA.
  
19. Timothy, M. (2015, 12 de enero). *Trituración en canteras de cielo abierto*. Consultado el 28 de septiembre de 2015 de <http://www.trituspectro.com/inicios/trituracion-en-canteras-de-cielo-abierto?related=1>



